

УДК 628.917:621.3.032.9

О.В. Матошин, студент гр. ПБ-81

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. У даній роботі розглянуто особливості технології виготовлення світлодіодних елементів, а саме детально розглянуто метод вирощування кристалів Чохральського, в основі якого лежить явище рідинно-фазової епітаксії. Також проаналізовано основні переваги світлодіодних елементів при використанні.

Ключові слова: світлодіод, складання світлодіодів, рідинно-фазова епітаксія, інкапсуляція, технологія вирощування кристалів Чохральського.

ВСТУП

Останнє десятиріччя спостерігається бурхливий розвиток технологій виготовлення світлодіодних елементів, що зумовлює постійне удосконалення та розробку нових складових компонентів. По мірі вдосконалення властивостей і характеристик, даний промисловий продукт є одним з головних і найбільш популярним типом виробів для освітлення. Світлодіодні елементи стали чудовою альтернативою для заміни лампочок у багатьох електричних та електронних конструкціях, оскільки вони використовують менше енергії, мають довший термін служби, нижчу теплопровідність і випромінюють кольорове світло, а також є більш практичними та ефективнішими.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Загалом, світлодіодні елементи виготовляються з дуже тонких шарів напівпровідникового матеріалу; один шар містить надлишок електронів, а інший – недостатню кількість [1]. Ця різниця змушує електрони переходити з одного шару в інший, тим самим генеруючи світло. На сучасному виробництві ці шари можна зробити досить тонкими, а саме близько 0,5 мкм.

Домішки всередині напівпровідника використовуються для створення необхідної електронної густини. Пластина напівпровідника являє собою єдиний однорідний кристал, і домішки додаються до нього пізніше в процесі виробництва. Конкретними напівпровідниками, що використовуються для виробництва світлодіодів, є арсенід галію, фосфід галію та фосфід арсеніду галію. Різні напівпровідникові матеріали та домішки призводять до генерування різного кольору світла від світлодіоду [1].

Світлодіодні елементи функціонують за допомогою живлення електричним струмом. Таким чином, дрти входу та виходу повинні бути прикріплені до корпусу світлодіодного елемента. Матеріали дртів повинні мати відповідні хіміко-фізичні властивості та бути придатними для процесів подальшого паяння та нагрівання. Для цього найчастіше використовують такі матеріали як золото та срібло, оскільки вони утворюють хімічний зв'язок із галієм на поверхні корпусної деталі світлодіодного елемента.

Далі світлодіодний елемент встановлюють у прозорий корпус, виготовлений із пластику. Пластик може бути будь-якого різновиду і його оптичні властивості визначатимуть як виглядає вихідне забарвлення світлодіодного елемента [3].

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Розглянемо технологічний процес виготовлення світлодіодних елементів. Спочатку виготовляється напівпровідникова пластина. Матеріалом для неї може бути – арсенід галію, фосфід галію, що визначається кольором бажаного світлодіоду. Кристалічний напівпровідник вирощують у високотемпературній камері високого тиску. Галій, миш'як та фосфор очищаються та змішуються в камері [2]. Тепло і тиск зріджують і стискають компоненти між собою, щоб вони потрапили в розчин. Щоб вони не потрапили в газ під тиском в камері, компоненти часто покриваються шаром рідкого оксиду бору, який ущільнює їх так, що компоненти повинні злипатися [4]. Це явище відоме як інкапсуляція рідини, або метод росту кристалів Чохральського. Після змішування елементів в однорідному розчині стрижень занурюють у розчин і повільно витягують. Розчин охолоджується і кристалізується на кінці стержня, утворюючи довгий циліндричний кристалічний злиток із суміші напівпровідних матеріалів (рис. 1, а). Потім напівпровідниковий злиток нарізають на дуже тонкі пластинки напівпровідника, товщиною приблизно 25 мкм (рис. 1, б).

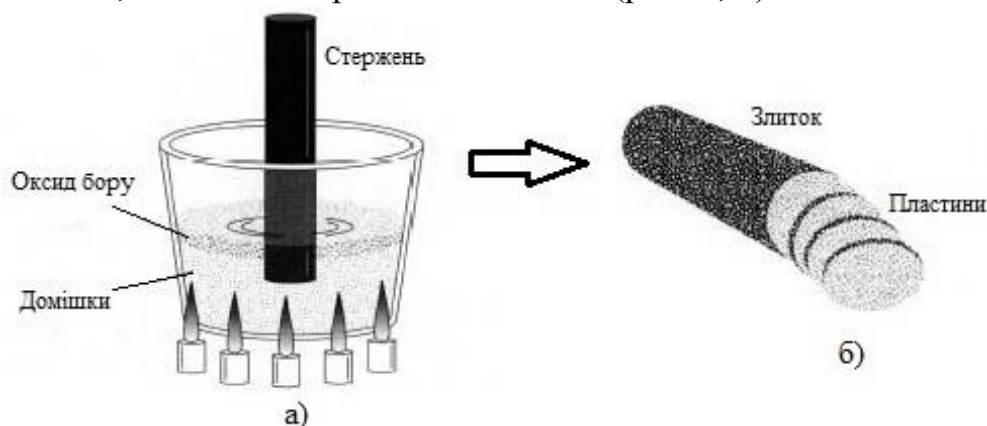


Рисунок 1. Технологія виготовлення пластин: а) утворення злитку, б) нарізання злитку на пластини.

Пластины поліруються до тих пір, поки поверхні не стануть дуже гладкими, так що вони легко приймуть більше шарів напівпровідника на свою поверхню. Кожна пластина повинна бути єдиним кристалом матеріалу однорідного складу. На жаль, іноді в кристалах утворюються неякісні ділянки, які в подальшому впливають на якість роботи світлодіодного елементу.

Далі пластини очищаються за допомогою хімічного та ультразвукового процесу з використанням різних розчинників. Чим точніша обробка, тим якіснішим буде отриманий світлодіодний елемент [4,5].

Додаткові шари напівпровідникового кристалу вирощуються на поверхні пластини. Один із способів – додати до кристала домішки або легуючі речовини. Кристалічні шари вирощують за допомогою процесу, який називається рідинно-фазова епітаксія (РФЕ) [3]. В цій технології епітаксiальні шари – напівпровідникові шари, які мають однакову кристалічну орієнтацію із підкладкою. Дані шари наносяться на пластину, поки вона протягується під резервуарами розплавленого напівпровідника. У резервуарах змішані відповідні легуючі речовини. Пластина спирається на графітову пластину, яку

проштовхують через канал під контейнером, що утримує розплавлену рідину. Нанесені шари є продовженням кристалічної структури пластини.

Рідинно-фазова епітаксія створює надзвичайно однорідний шар матеріалу, що робить її кращою технологією нарощування та легування. Утворені шари мають товщину в кілька мікрон (рис. 2).

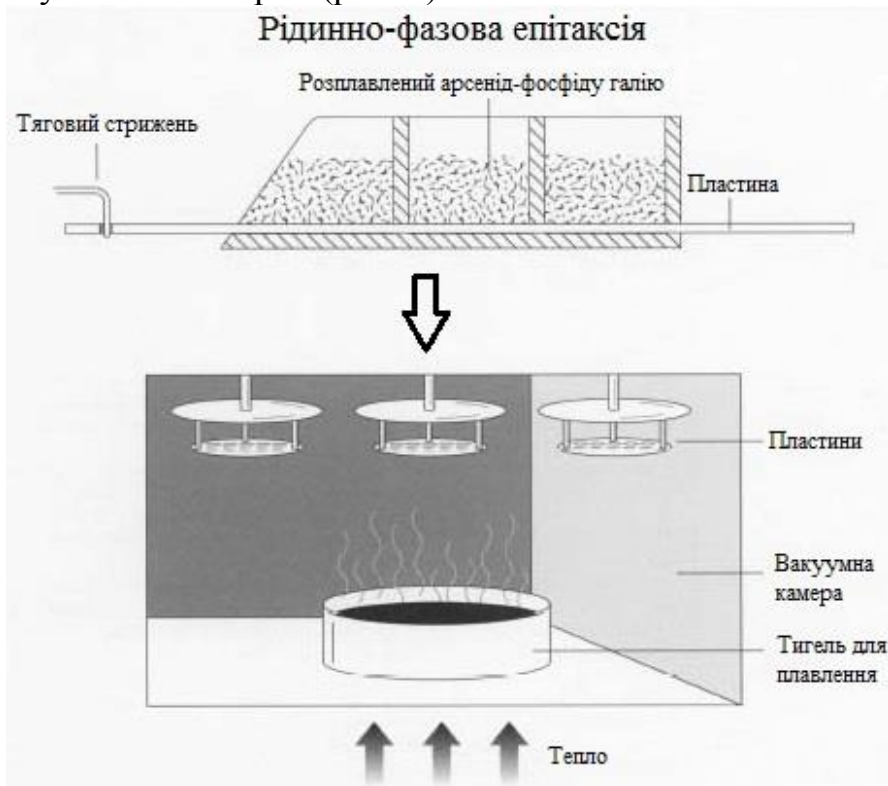


Рисунок 2. Процес рідинно-фазової епітаксії

Після нанесення епітаксійних шарів може знадобитися додавання додаткових домішок, щоб змінити характеристики діода для зміни кольору або покращення ефективності світіння. Якщо проводиться додаткове легування, пластину знову поміщають у високотемпературну трубку печі, де її занурюють у газоподібну атмосферу, що містить легуючі речовини – азот або амоній цинку є найбільш поширеними домішками. Азот часто додають у верхній шар діода, щоб зробити світло більш жовтим або зеленим [5].

Потім на пластині формуються металеві контакти. Структура контактів визначається на стадії проектування і залежить від того, використовувати діоди поодиночці чи в комбінації. Рідкий резист (захисний шар) наноситься краплями, коли пластина обертається, розподіляючи його по поверхні. Резист зміцнюється коротким випіканням при низькій температурі 100 градусів за Цельсієм. Далі еталонний рисунок, або маска, копіюється на фоторезисті, розміщуючи його на пластині і опромінюючи ультрафіолетовим світлом. Відкриті ділянки резисту змиваються окисником, а неекспоновані ділянки залишаються, покриваючи напівпровідникові шари.

Контактний метал випаровується на малюнку, заповнюючи відкриті ділянки. Випаровування відбувається в іншій високотемпературній камері у вакуумному режимі. Резист нагрівається до температури, яка призводить до його випаровування. Він конденсується і прилипає до відкритої

напівпровідникової пластини. Потім фоторезист можна змити ацетоном, залишивши лише металеві контакти. Залежно від остаточної схеми кріплення світлодіоду, на задній стороні пластини може випаровуватися додатковий шар металу. Будь-який осаджений метал повинен пройти процес відпалу, при якому пластина нагрівається до декількох сотень градусів і залишається в печі (з інертною атмосферою водню або азоту, що протікає через неї) до декількох годин. Протягом цього часу метал і напівпровідник з'єднуються хімічно.

На одній пластині діаметром 5 см буде однаковий малюнок, повторений до 6000 разів; це вказує на розмір готових діодів. Діоди розрізають шляхом розколу або розпилюванням алмазною пилкою. Розрізання пластини – складний процес, в результаті не всі світлодіоди будуть працювати [3-5].

Світлодіодні елементи, отримані розрізанням, встановлюють у відповідний корпус. Якщо діод буде використовуватися в якості світлового індикатора, то його встановлюють на два металевих дроти довжиною близько 50 мм. Зазвичай у цьому випадку задня сторона пластини покривається металом і утворює електричний контакт із проводом, на який вона спирається. Далі весь вузол герметично термічно закривається пластиковою кришкою. Провід і світлодіод підвішені всередині корпусу, який має форму відповідно до оптичних вимог складання. Корпус заповнюється рідким пластиком або епоксидною смолою. Після затвердіння епоксидної смоли процес формування світлодіодного елемента вважається завершеним [5].

ВИСНОВОК

Розглянуті в роботі підходи виготовлення світлодіодних елементів наявно демонструють трудомісткість та довготривалість технологічного процесу. Використання сучасних технологій, таких як рідинно-фазова епітаксія та метод росту кристалів Чохральського, а також вдосконалених методів обробки, дозволяють значно спростити виготовлення, підвищити точність, якість та надійність світлодіодних елементів. Саме тому дані елементи масово використовують у багатьох сучасних електронних пристроях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] A. Porst, F. Auerbach, H. Brunner, G. Deboy, F. Hille. Improvement of the diode characteristics using emitter-controlled principles (EMCON-diode) // Proc. ISPSD. 1997.
- [2] Стельмах Н., Сапон С., Рижук Я. Вибір оптимального технологічного процесу на базі автоматизованої оцінки його техніко-економічних параметрів. Технічні науки та технології. 2020. No 1 (19). С. 89-97. DOI:10.25140/2411-5363-2020-1(19)-89-97.
- [3] Gillesen, Klaus. Light-Emitting Diodes: An Introduction. Prentice Hall, 1987.
- [4] LED Manufacturing. Light-Emitting Diode (LED) – Режим доступу: <https://ru.scribd.com/document/56591418/LED-Manufacturing> – 10.11.2020 p.
- [5] Marston, Ray. "Working with LED's." Radio-Electronics. January, 1992, p. 50; February, 1992, p. 69.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Стельмах Н.В.